



屋外タンク貯蔵所の津波対策について ～地域性に応じた被害軽減・防止策～

青野 雅也

(堺市消防局予防部 危険物保安課)

1 はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災では、既往の想定を上回る大規模な地震の影響により石油コンビナート等特別防災区域で大規模火災が発生する等、コンビナート区域内で発生する事故が大規模な複合災害へと発展する危険性が高いことを改めて認識させられたとともに、沿岸部の危険物施設に対する津波の脅威に恐怖を抱いた。

東日本大震災における危険物施設及び石油コンビナート施設の被害状況を取りまとめた「東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に関わる検討報告書」(以下、「報告書」という。)によると、被害調査を実施した16都道府県の危険物施設211,877施設の内、3,341施設で被害が発生(図1参照)している中、被災施設の大部分(2,674施設)は沿岸部に集中しており、津波を原因とする危険物流出事故は106件中、92件(87%)が屋外タンク貯蔵所で発生している。

当消防局管内においても大阪湾沿岸部の堺・泉北臨海地区特別防災区域に多数の危険物施設が設置されており、津波による被害が懸念されていることから、この度、特に危険物流出の潜在的危険性が高いと考えられる管内浸水想定区域内に設置されている屋外タンク貯蔵所を対象とした、地域性に応じた津波被害の軽減・防止策について検討を実施した。

2 屋外タンク貯蔵所の津波対策について

東日本大震災における屋外タンク貯蔵所の津

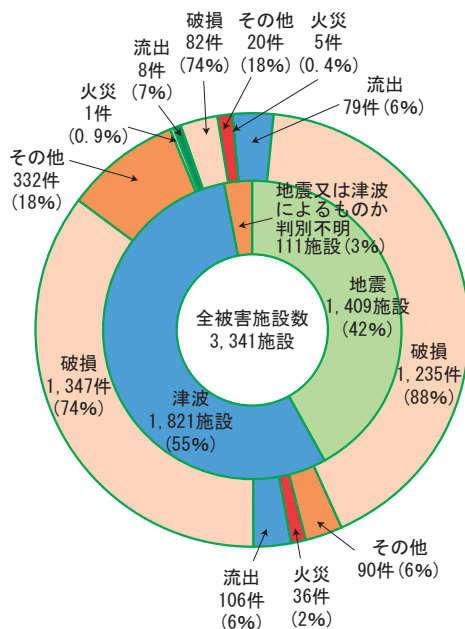


図1 危険物施設の被害原因と内訳
* 報告書概要資料より

波被害形態(図2参照)について、タンク底板から5m以上の津波浸水を受けた屋外タンク貯蔵所はタンク本体、付属配管共に被害が発生し、3m以上5m未満の津波浸水を受けた屋外タンク貯蔵所はタンク本体に被害がないものの付属配管に被害が発生したと報告書で取りまとめられた。

このことを踏まえ、総務省消防庁からは、タンク底板から3m以上の津波浸水が想定される特定屋外タンク貯蔵所(タンク容量10,000kl未満)については、従業員の避難を考慮した上でタンクの元弁を閉止出来る体制が構築されていない場合は、予備動力源が確保された遠隔操作の可能な緊急遮断弁(以下「緊急遮断弁」という。)を設置し、配管を通じた当該タンクからの

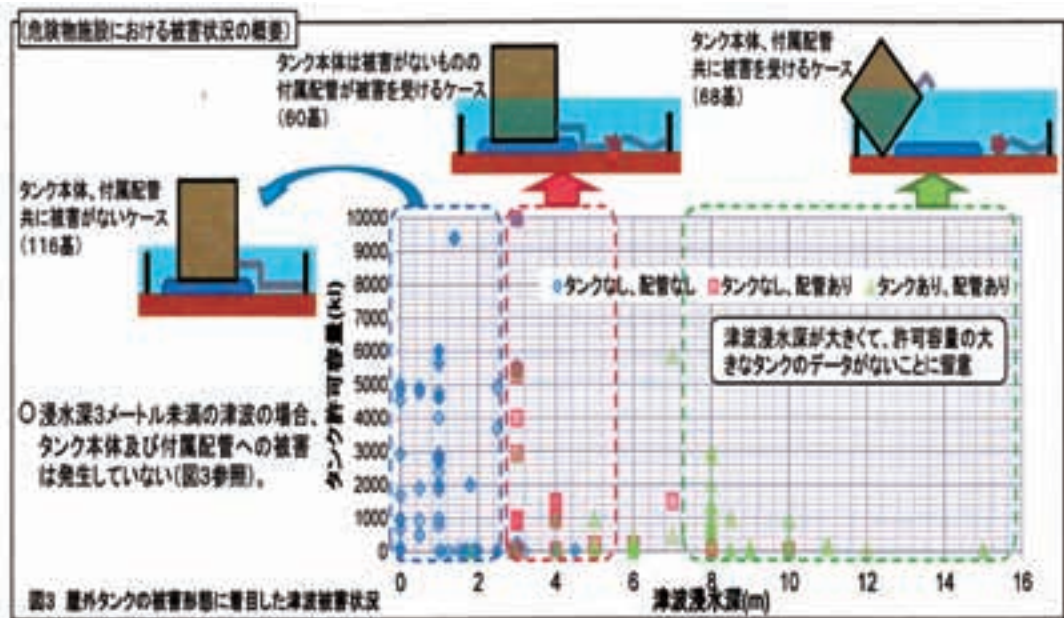


図2 屋外タンク貯蔵所の津波被害形態 * 報告書概要資料より

危険物の流出を防止する措置について予防規程に盛り込むよう予防規程の運用通知（平成24年8月21日付消防危第197号「危険物施設の地震・津波対策に係る予防規程の策定について」参照。以下「197号通知」という。）の中で示された。

これまでの消防法令上の緊急遮断弁とは、阪神淡路大震災や十勝沖地震の被害状況を踏まえた地震対策として、配管が破断した場合にタンク元弁を閉止し、タンク内の危険物流出を防止する目的でタンク容量10,000kl以上の特定屋外タンク貯蔵所に設置が義務付けられたものや、液面揺動が生じて浮き屋根上に危険物が滞留した場合に排水設備を介して外部流出することを防止する目的でタンク容量20,000kl以上又は空間高さ（Hc）が2m以上となる浮き屋根でシングルデッキ型の特定屋外タンク貯蔵所に義務付けられたものがあるが、いずれも津波対策が考慮されたものではない。

報告書を受けて、津波発生時に緊急遮断弁が最も有効に機能するケースは、タンク本体が津波により移動せず、付属配管のみが被害を受ける場合と考えられることから、報告書の被害状況と

管内の被害想定は地域性により相違があるのではないかと、197号通知で設置対象とならない準特定屋外タンク貯蔵所であっても「タンク本体は被害がないものの付属配管が被害を受けるケース」が存在するのではないかと疑問が生じ、管内屋外タンク貯蔵所の津波被害想定について調査（以下、「津波被害調査」という。）を実施した。

3 津波被害調査について

管内屋外タンク貯蔵所の津波被害想定を把握し、被害を最小限に軽減・防止するための有効な対策について検討を行うため、総務省消防庁から提供されている津波被害シミュレーションツールを活用した津波被害調査（図3参照）を実施した。

3.1 津波浸水想定等

想定津波高は堺市が標高6.8m、高石市が標高6.4mとし、大阪府石油コンビナート等特別防災区域津波避難計画や地域防災計画等で定める数値を準用した。なお、これらの計画は東日本大震災の教訓を踏まえ、暫定的に津波高を従来の2倍としたものである。

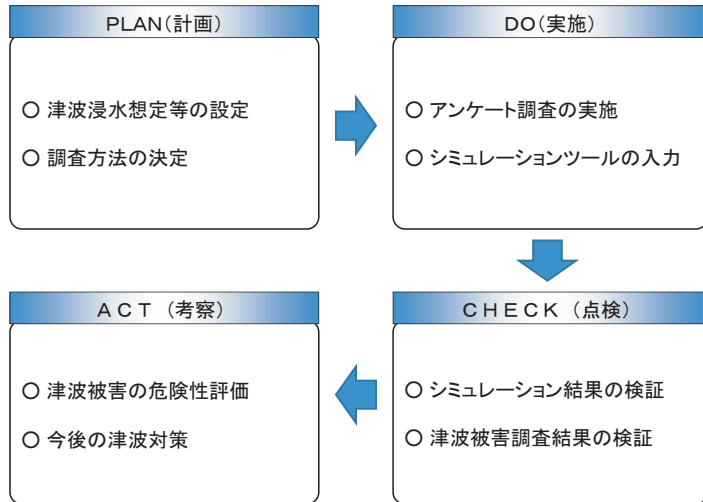


図3 津波被害調査 (PDCA)

表1 堺・泉北臨海地区の津波想定

想定	堺・泉北臨海地区
津波高	堺市 6.0m 満潮時は、 標高(TP) 6.8m =OP+8.1m 高石市 5.6m 満潮時は、 標高(TP) 6.4m =OP+7.7m
最低地盤高さ	堺市：標高2.6m 高石市：標高2.2m
浸水予測	～4.2m
津波到達時間	約110分
浸水の有無	全ての地区浸水

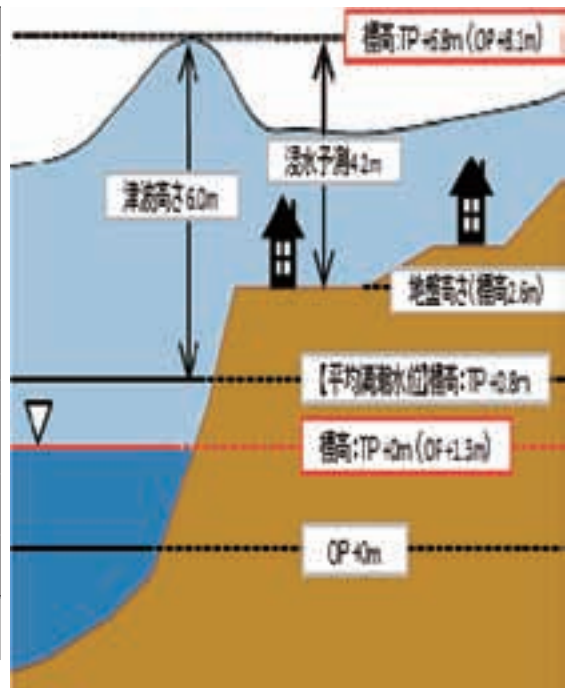


図4 津波高・浸水予測図 (堺市の場合)

* 1 TP：東京湾平均海面

* 2 OP：大阪湾最低潮位

3.2 調査方法

平成24年10月10日現在、管内浸水想定区域内に設置されている屋外タンク貯蔵所787施設(タンク容量10,000kl未満)のデータを抽出し、当

該施設の関係者に対し管内の津波被害想定を検証を行うために必要な6項目(①タンク内径②タンク自重③内容物の実液比重④最低貯蔵量⑤最高貯蔵量⑥タンク底板からの最高津波浸水

表2 津波浸水想定区域内の屋外タンク貯蔵所 *アンケート回答 780施設

タンク規模	施設数	津波浸水深3m以上の施設数
タンク容量10,000kl未満の屋外タンク貯蔵所	787	450
タンク容量10,000kl未満の特定屋外タンク貯蔵所	186	72
準特定屋外タンク貯蔵所	87	53
タンク容量500kl未満の屋外タンク貯蔵所	514	325

深)について平成24年10月19日よりアンケート調査を依頼。後、アンケート調査結果を取りまとめるとともに、津波被害シミュレーションツールへの入力を行い、検証を実施した。

3.3 アンケート調査結果

管内浸水想定区域内に設置されている屋外タンク貯蔵所787施設の内、450施設(57%)が津波浸水深3m以上であること。準特定屋外タンク貯蔵所にあつては、87施設の内、53施設(61%)が津波浸水深3m以上5m未満であることが判明した。(表2参照)

3.4 津波被害シミュレーションツールの入力

アンケート調査の回答施設780施設の内、766施設(未実施14施設内訳 休止中:12、廃止:1、浸水被害なし:1)について、シミュレーションツールの入力を実施した。

なお、当該シミュレーションツールでは、既往の津波波力算出式が用いられているが、タンクに設置されるアンカー等の付属設備の強度は考慮されていない。

また、屋外貯蔵タンクの津波被害(浮き上がり、滑動)に関する評価方法として、被害発生可能性の簡易予測手法(表3参照)が用いられている。

表3 屋外貯蔵タンクの被害発生可能性の簡易予測手法

被害形態	発生可能性の簡易予測手法
浮き上がり	浮き上がり安全率: $F_{Sa} = \frac{W_T + W_L}{F_{IV}}$ 浮き上がりの可能性あり: $F_{Sa} \leq 1.0$ - - - 可能性なし: $F_{Sa} \geq 1.0$ W_T : タンク本体の重量 W_L : タンク内溶液の重量 F_{IV} : タンクに作用する鉛直力(津波波力)
滑動	滑動安全率: $F_{Sb} = \frac{\mu(W_T + W_L - F_{IV})}{F_{IH}}$ 滑動の可能性あり: $F_{Sb} \leq 1.0$ - - - 可能性なし: $F_{Sb} \geq 1.0$ μ : タンク基礎とタンク本体の摩擦係数 W_T : タンク本体の重量 W_L : タンク内溶液の重量 F_{IV} : タンクに作用する津波の鉛直力 F_{IH} : タンクに作用する津波の水平力

4. 1 シミュレーション結果の検証

シミュレーションツールの入力結果から安全率が1となるチャート例（安全率が1未満でタンク本体に被害が発生する可能性がある」と判断するもの）を活用し、津波の流れが標準的（Fr=0.9）と仮定した場合に安全率が1となる貯蔵率とタンク容量をグラフで表し、タンク本体の浮き上がり及び滑動について検証を実施した。

4. 1. 1 検証① 最高津波高による津波浸水を受けた場合

津波浸水深3m以上の屋外タンク貯蔵所125施設（タンク容量500kl以上10,000kl未満）の内、休止中の4施設を除く121施設について、個々のタンクで想定されている最高津波高による浸水を受けた場合の浮き上がり安全率及び滑動安全率が1となる貯蔵率について図5により表した。

4. 1. 2 検証①の結果

・準特定屋外タンク貯蔵所においても、22%から53%以上の危険物を貯蔵している状況において、「タンク本体に被害は受けないものの付属配管に

被害を受けるケース」が発生する可能性がある。

・準特定屋外タンク貯蔵所からタンク容量2,000kl未満の特定屋外タンク貯蔵所76施設の内、貯蔵率21%から40%の状態において滑動安全率が1となる施設が67施設存在する。

検証①の結果を受けて、多数の準特定屋外タンク貯蔵所とタンク容量2,000kl未満の特定屋外タンク貯蔵所は「タンク本体に被害は受けないものの付属配管に被害を受けるケース」が発生する貯蔵率がおおむね20%から40%の範囲で類似していたことから、タンク規模による比較を行う必要性が生じた。

なお、タンク規模による比較を行う上で、貯蔵されている危険物は今後変更されることも予測出来、当該シミュレーションツールではタンク規模が大きくなるほど貯蔵する危険物の液比重が安全率に大きく影響すること、また、個々のタンクは設置環境の違いにより津波浸水深が異なることから、液比重及び津波浸水深を同一条件にして検証する必要性が生じた。

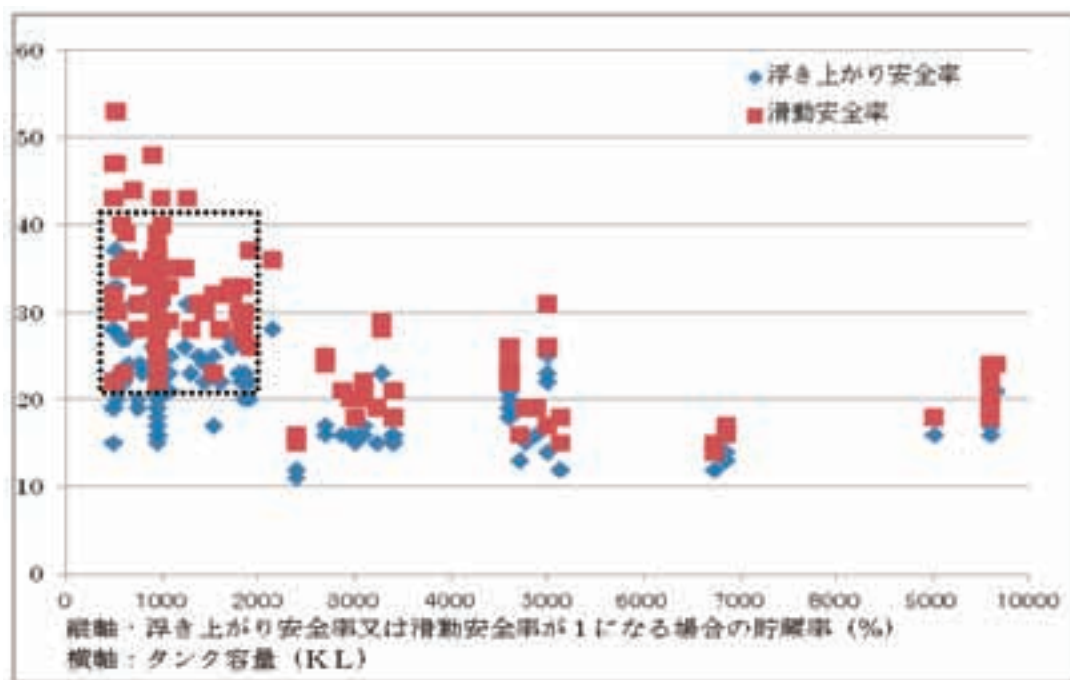


図5 検証①最高津波高による津波浸水を受けた場合の安全率が1となる数値

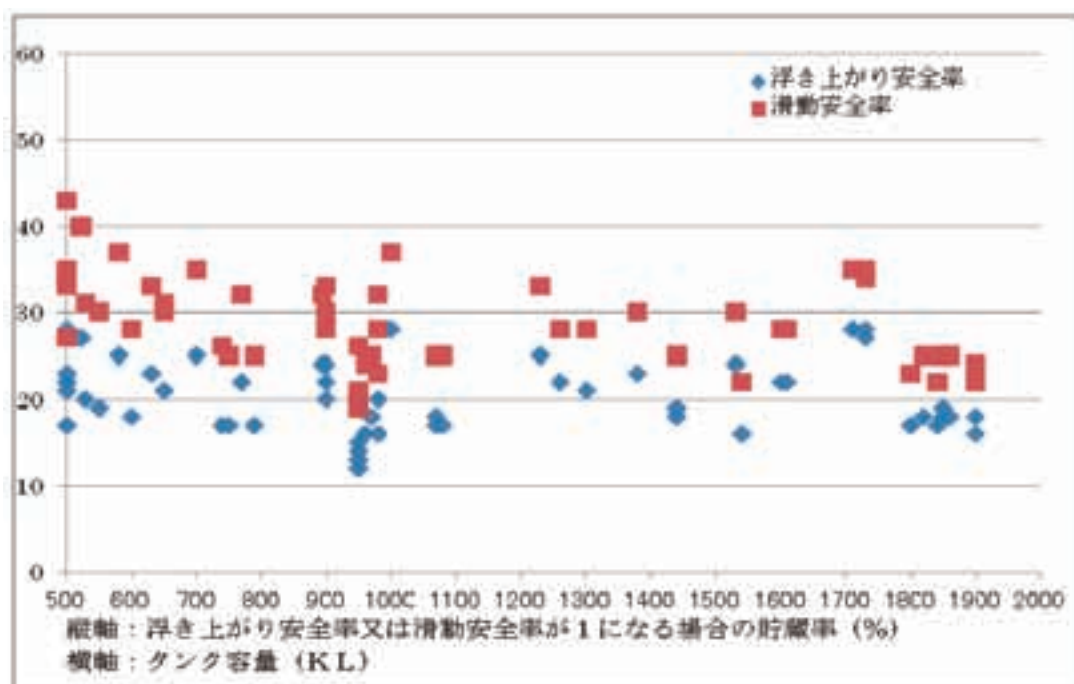


図6 同一条件でタンク規模による比較を行った場合の安全率

4. 1. 3 検証② タンク規模による比較

津波浸水深3メートル以上の屋外タンク貯蔵所76施設（タンク容量500kl以上2,000kl未満）が一律、液比重1.0の内容物を貯蔵した状態において、3メートルの津波浸水を受けると仮定した場合の安全率が1となる貯蔵率について図6により表した。

4. 1. 4 検証②の結果

・安全率が1となる貯蔵率（表4、表5参照）は、準特定屋外タンク貯蔵所が浮き上がりで12～28%、滑動で19～43%の範囲を示したことに対し、タンク容量2,000kl未満の特定屋外タンク貯蔵所は浮き上がりで16～28%、滑動で22～35%の範囲を示した。

検証②の結果、一定の範囲（タンク容量500kl以上2,000kl未満）における屋外タンク貯蔵所の浮き上がり及び滑動の危険性を示す数値（貯蔵率）はほぼ同等である。

4. 2 津波被害調査結果の検証

・管内で3m以上の津波浸水を受けると想定さ

れているタンク容量10,000kl未満の特定屋外タンク貯蔵所及び準特定屋外タンク貯蔵所は、被災時の貯蔵率が高い場合に「タンク本体に被害は受けないものの付属配管に被害を受けるケース」が発生する危険性があり、被災時の貯蔵率が高いほど、より大量の危険物が配管を通じて流出する危険性が高い。

・管内には、3m以上の津波浸水を受ける準特定屋外タンク貯蔵所が相当数（図7参照）設置されていることから、管内の津波被害想定は報告書の被害状況と異なり、準特定屋外タンク貯蔵所から大量の危険物が流出する危険性が存在する。

・管内で特に大量の危険物流出の潜在的危険性が高い屋外タンク貯蔵所（3m以上の津波浸水を受ける特定屋外タンク貯蔵所及び準特定屋外タンク貯蔵所）を設置している事業所（9社）は全て、多数の危険物・高圧ガス施設を保有するコンビナート区域内の特定事業所である。

5. 1 津波被害の危険性評価

津波被害調査結果を受けて、コンビナート区

表4 津波浸水3m、液比重1.0で浮き上がり安全率が1となる貯蔵率

タンク容量 (kl)	津波浸水深 ≥ 3 m 施設数	0~10%	11~20%	21~30%	31~40%	41~50%
500~999	51		34	17		
1,000~1,999	25		14	11		
2,000~2,999	7		6	1		
3,000~3,999	12		12			
4,000~4,999	7	3	4			
5,000~5,999	7	2	5			
6,000~6,999	4	2	2			
7,000~8,999	0					
9,000~9,999	8		8			

表5 津波浸水3m、液比重1.0で滑動安全率が1となる貯蔵率

タンク容量 (kl)	津波浸水深 ≥ 3 m 施設数	0~10%	11~20%	21~30%	31~40%	41~50%
500~999	51		18	17	15	1
1,000~1,999	25			18	7	
2,000~2,999	7		5	2		
3,000~3,999	12		10	2		
4,000~4,999	7		3	4		
5,000~5,999	7		7			
6,000~6,999	4		4			
7,000~8,999	0					
9,000~9,999	8		8			

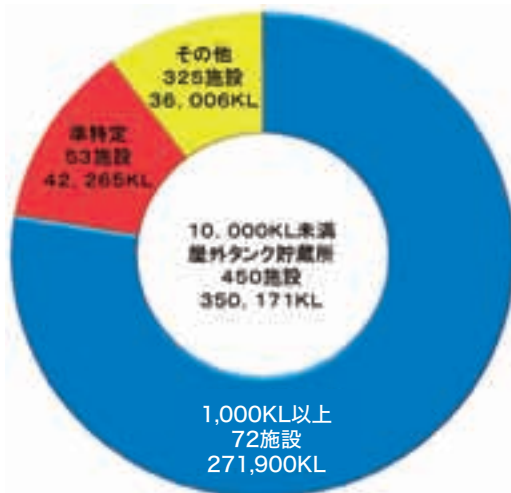


図7 津波浸水深3m以上の屋外タンク貯蔵所

域内で発生する大量の危険物流出事故が、津波によりどのような被害をもたらす危険性があるかを次のとおり考察するものとする。

5. 1. 1 火災発生に伴う危険性

コンビナート区域内で流出した危険物が津波により拡散し、静電気や漂流物による衝撃火花及び火災車両等により引火して火災に至ることが懸念されている。火災に至った場合、浸水及び液状化の影響により消火活動の困難な状況(消防車・消火栓使用不可)が予測出来ることから、周辺に多数設置されている危険要因を持ち合わせた施設へ延焼し、大規模な複合災害へと発展する危険性が高まる。

なお、管内のコンビナート区域内で災害が発生

し、津波到達時間までの間にコンビナート区域外への避難が必要となった場合、避難経路が1系統の事業所が大多数である。現在、液状化に伴う道路機能の低下や予測出来ない災害等による避難障害を危惧して、大津波警報が発令された場合であっても関係者を事業所構内又は近隣企業の耐震性能が確保された3階以上の建築物へ一時避難するよう予防規程・消防計画等で定めている事業所が多く、津波到達後に近隣施設で災害が発生した場合、逃げ場所を失う危険性がある。

また、管内のコンビナート区域内には地域防災無線スピーカーが設置されていないことから、コンビナート区域一体において緊急避難が必要となった場合に、防災無線を設置していない事業所の関係者やコンビナート区域内にいる者に対する避難広報が不十分な体制にある。

5. 1. 2 付近住民への影響

東日本大震災では、コンビナート区域内で発生した火災・爆発等の事故に伴い、周辺住民に対して災害対策基本法に基づく避難勧告（千葉県市原市）・避難指示（宮城県仙台市）が出された。また、タンク内から流出した危険物が市街地へ漂流し、火災を引き起こした事例（宮城県気仙沼市）も発生していることから、大規模災害に発展した場合や津波により危険物が内陸部に流された場合には、付近住民に多大な影響を及ぼす危険性が高い。

特に、水害に弱い地形といわれる大阪平野に大都市を抱える管内の津波浸水想定は、多数の住居地域を含む内陸部まで及んでおり、コンビナート区域内で発生した危険物流出事故を起因とする火災が津波により内陸部まで漂流してきた場合、地域で定められた津波浸水想定区域内の津波避難場所へ火災が延焼し、あらかじめ定められている避難場所で避難者が火災に巻き込まれる危険性がある。

5. 1. 3 海上への危険物流出

管内の津波被害により危険物が流出する危険

性が高い屋外タンク貯蔵所は、全て沿岸部に設置されていることから、引き波や運河を通じて海上へ流出する危険性が高い。海上へ危険物が流出した場合、早期の防除活動（危険物の回収・除去）の困難な状態が予測出来ることから、危険物が広範囲に拡散するとともに海上火災に発展する危険性も伴う。

また、長期にわたる海上汚染が免れない状態となり、長期的な流出油やムース（油水エマルジョン）の存在が、災害復旧作業にあたり常時清浄な海水を必要とする発電所や海水淡水化施設の通常操業等、安全操業に支障をもたらす恐れがあるとともに、後の沿岸部における人間活動や海洋資源利用者に深刻な社会的・経済的影響をもたらし、広範囲に及ぶ沿岸地域の美観と利用を著しく損なう危険性がある。

5. 2 今後の津波対策

津波被害調査の結果、管内の3 m以上の津波浸水を受ける準特定屋外タンク貯蔵所は、「タンク本体に被害は受けないものの付属配管に被害を受けるケース」が発生する可能性があり、対象施設が相当数（**図7参照**）設置されていることから、津波被害から大量の危険物流出を防止する対策として緊急遮断弁の設置を指導する必要がある。

なお、197号通知における配管を通じたタンクからの危険物流出を防止する措置として、従業員が避難時間を考慮した上でタンク元弁を閉止出来る体制がとられている事業所の対象施設に対しても、大規模地震発生時は従業員が凍りつき症候群（初めて遭遇する事象に対してその危険度と置かれた状況が直ちに認識・把握できず、思考停止状態となり動けなくなること）や正常性バイアス（非常時にもかかわらず、まだ正常範囲と自分に都合よく誤認させる心理が働くこと）といった心理状態に陥る可能性が考えられること及び災害発生により対象施設に近づけない場合や緊急避難が必要となる事態が十分

に考えられることから、従業員の作業負担を軽減し、避難を円滑にする対策として緊急遮断弁の設置を指導することが有効である。

6 おわりに

197号通知を受けて、人命確保を最優先とする避難対策と危険物施設の被害軽減・防止策の確立を予防規程の改訂指導等を通じて関係者に対し指導してきたところであるが、その有効的な手法は地域の実情により様々であると考ええる。

今回、当消防局では地域性に応じた屋外タンク貯蔵所の有効的な被害軽減・防止策を検討する過程において津波被害調査を実施し、シミュレーション結果や地域性を考慮した結果、沿岸部における危険物の大量漏えいを防止する対策として準特定屋外タンク貯蔵所に対しても緊急遮断弁の設置を行政指導すべきであるという結論に至った。

現在、管内では自主的に津波対策に取り組んでいる事業所が増えてきており、関係行政機関では地震・津波被害を軽減・防止する緊急遮断弁を含む災害対策設備の設置に関する税の優遇制度が確立されつつある。

市民のコンビナート防災に関する意識が高まってきている中、地域の特質性に応じた有効な対策を消防行政が企業の後ろ盾となり推進していくことは、企業の自主保安体制の強化へつながり、コンビナート地域一体の防災力の向上につながると考える。

東日本大震災以降、大規模地震の切迫性が厳しく指摘されている今日の社会情勢であり、南海トラフ巨大地震に関する想定が発表される等、今後の想定が変わることも十分に考えられるが、東日本大震災の教訓及び結果を踏まえれば、防災に携わる全ての者は想定される最大クラスの被害想定に対して謙虚な姿勢で臨むべきであり、危険物規制に携わる者は現行の基準に適合した施設の設置及び維持管理を指導してい

くことが重要であると考ええる。

我々消防吏員は自然災害の脅威に対して国民の生命、身体及び財産を守ることが使命であり、大規模地震の発生を想定した危険物施設・石油コンビナート施設における有効な事故防止対策を今後も検討していく。

最後に、今回の論文がコンビナート防災の積極的な地震・津波対策の推進につながることを期待するとともに、コンビナートを抱える消防本部の津波対策指導における資料となれば幸いである。

参考文献

- 1) 危険物施設に係る津波・浸水対策調査検討報告書
平成19年3月 総務省消防庁危険物保安室
- 2) 危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討報告書
平成21年3月 総務省消防庁危険物保安室
- 3) 東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討報告書
平成23年12月 総務省消防庁危険物保安室・特殊災害室
- 4) Safety & Tomorrow No.138~No.142 東日本大震災における危険物施設の被害概要
危険物保安技術協会
- 5) 安全工学 災害予防と環境保全の技術 東日本大震災特集号 Vol.50 No.6 2011
特定非営利活動法人 安全工学会
- 6) 防災・危機管理の再点検-進化するBCP(事業継続計画) 山村 武彦 著
- 7) 大阪府石油コンビナート等防災計画 平成24年3月
- 8) 大阪府石油コンビナート等特別防災区域津波避難計画 平成24年3月
- 9) 堺市地域防災計画 平成24年6月
- 10) 暫定版堺市津波避難計画 平成24年7月
- 11) 高石市地域防災計画 平成24年8月